

ASPECTOS RELACIONADOS AO MAPEAMENTO DA DISPONIBILIDADE DE POTÁSSIO NOS SOLOS DO BRASIL



Dezembro, 2008

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos

104 *Embrapa Solos*
ISSN 1517-2627

237 *Embrapa Arroz e Feijão*
ISSN 1678-9644

Aspectos relacionados ao mapeamento da disponibilidade de potássio nos solos do Brasil

*Rachel Bardy Prado
Vinícius de Melo Benites
Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado
José Carlos Polidoro
Alexey Naumov*

Embrapa Solos
Rio de Janeiro, RJ
2008

Embrapa Solos

Rua Jardim Botânico, 1.024
Jardim Botânico - Rio de Janeiro, RJ
CEP: 22460-000
Fone: (021) 2179-4500
Fax: (021) 2274-5291
Home page: www.cnps.embrapa.br
E-mail: sac@cnps.embrapa.br

Embrapa Arroz e Feijão

Rodovia GO-462, km 12 Zona Rural
75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO
Caixa Postal 179
Fone: (62) 3533-2110
Fax: (62) 3533-2100
Home page: www.cnpaf.embrapa.br
E-mail: sac@cnpaf.embrapa.br

Comitê de Publicações do CNPS

Presidente: Aluísio Granato de Andrade
Secretário: Antônio Ramalho Filho

Comitê de Publicações do CNPAF

Presidente: Luís Fernando Stone
Secretário: Luiz Roberto Rocha da Silva

Supervisão editorial: Jacqueline Silva Rezende Mattos
Revisão de texto: Comitê de Publicações Embrapa Solos
Normalização bibliográfica: Cláudia Regina Delaia
Editoração eletrônica: Jacqueline Silva Rezende Mattos

1ª edição

1ª impressão (2008): Online

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

P896a Prado, Rachel Bardy.

Aspectos relacionados ao mapeamento da disponibilidade de potássio nos solos do Brasil / Rachel Bardy Prado ... [et al.]. — Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro : Embrapa Solos ; Santo Antônio de Goiás : Embrapa Arroz e Feijão, 2008.

33 p.: il. - (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627 ; 104)
(Documentos / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1978-9644 ; 237)

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: <<http://www.cnps.embrapa.br>>

Título da página da Web (acesso em 30 dez. 2008).

1. Brasil. 2. Mapa. 3. Potássio. 4. Solo. I. Benites, Vinícius de Melo. II. Machado, Pedro Luiz Oliveira de Almeida. III. Polidoro, José Carlos. IV. Naumov, Alexey. V. Título. VI. Série.

CDD (21.ed.) 669.725

© Embrapa 2008

Autores

Embrapa Solos

Rachel Bardy Prado

Pesquisadora D.Sc. Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico 1024 Jardim Botânico - Rio de Janeiro, RJ.
CEP: 22460-000. E-mail: rachel@cnps.embrapa.br

Vinícius de Melo Benites

Pesquisador D.Sc. Embrapa Solos.
E-mail: vinicius@cnps.embrapa.br

José Carlos Polidoro

Pesquisador D.Sc. Embrapa Solos.
E-mail: polidoro@cnps.embrapa.br

Embrapa Arroz e Feijão

Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado

Pesquisador D.Sc. Embrapa Arroz e Feijão. Rodovia GO-462, km 12 Zona Rural C.P. 179
75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO
E-mail: pmachado@cnpaf.embrapa.br

Alexey Naumov

Professor da Universidade de Moscou (Rússia) e
Coordenador para a América Latina do Instituto
Internacional do Potássio.

Sumário

1. Introdução	7
2. Disponibilidade e organização dos dados passíveis de serem utilizados no mapeamento da fertilidade dos solos brasileiros	9
3. Utilização de geotecnologias para a obtenção e organização de informações referentes à fertilidade dos solos ...	13
4. Mapeamento da disponibilidade de potássio nos solos ..	16
4.1 Mapeamento da disponibilidade de potássio - Brasil	16
4.2 Análise descritiva dos dados de solos, seleção e ponderação dos dados de K	16
4.3 Obtenção das unidades de mapeamento – biomas x solos e associação de informação espacial aos perfis de solos ponderados	19
4.4 Mapeamento da disponibilidade de K a partir dos perfis de solos ponderados com informação espacial associada	22
4.5 Mapeamento da disponibilidade de K a partir da estatística descritiva aplicada aos perfis de solos ponderados, considerando o terceiro nível categórico	27
5. Considerações Finais	30
6. Referências Bibliográficas	31

Aspectos relacionados ao mapeamento da disponibilidade de potássio nos solos do Brasil

Rachel Bardy Prado

Vinícius de Melo Benites

Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado

José Carlos Polidoro

Alexey Naumov

1. Introdução

O recente processo de globalização da economia vem induzindo os segmentos produtivos, dentre os quais, o setor agrícola nacional, a obterem níveis de competitividade internacionais. Para atender a essa nova tendência, novos conceitos e métodos devem ser incorporados ao processo produtivo da agropecuária, envolvendo mudanças drásticas de atitudes em relação ao que se pratica hoje.

O modelo atual de exploração agrícola, considerando a expansão das áreas de cultivo nos últimos anos, tem proposto intensificar a aplicação de insumos, como fertilizantes e corretivos, para eliminar as limitações químicas dos solos e atender às exigências nutricionais das culturas, visando o aumento da produtividade (BERNARDI et al. 2002.). Por outro lado, os custos de produção aumentaram de forma significativa nos últimos tempos e a renda do produtor sofreu forte retração, sem mencionar os impactos ambientais gerados devido à aplicação inadequada de nutrientes, consequência da falta de informação. No caso do potássio, a situação ainda é mais agravante, pois são exigidos elevados teores de K pelas culturas em contraste com os teores geralmente deficientes dos solos brasileiros, o que leva a um aumento no consumo de fertilizantes potássicos (NACHTIGAL et al. 2005). No caso da soja, por exemplo, depois do nitrogênio, o potássio é o segundo elemento

absorvido em grandes quantidades pela planta, sendo que, em cada 1.000 g de sementes produzidas, são extraídos 20 kg de K_2O (MASCARENHAS et al. 2004). Além disso, por possuímos poucas reservas nacionais, grande parte dos fertilizantes potássicos é importada, o que eleva os custos e dificulta o acesso ao mesmo. Por outro lado, segundo estimativas de Hernani et al. (1999), a perda total anual de K no Brasil (lavoura e pastagem), em sistema convencional de manejo do solo, é de 1.469.571 toneladas.

Os solos brasileiros são muito contrastantes no que se refere à fertilidade, mesmo porque trata-se de um país de grande extensão territorial. O Mapa de Solos do Brasil, na escala 1:5.000.000 (IBGE, 2001a), permite distinguir 13 principais classes de solos representativas das paisagens brasileiras, onde se observam a grande abrangência dos Latossolos e dos Argissolos. No que se refere a deter informações organizadas sobre a fertilidade dos solos em escala nacional e regional, possibilitando a sua disponibilização para todos os setores agrícolas, o país encontra-se ainda em situação precária.

Neste sentido, uma questão que vem ganhando destaque especial ultimamente é o mapeamento da fertilidade dos solos em escala de propriedade, no âmbito da agricultura de precisão (MACHADO et al. 2004), sendo realizado por instituições públicas e privadas. Porém, o mapeamento da fertilidade dos solos em escala regional ainda é incipiente no Brasil. Este mapeamento tem importância estratégica para o país, permitindo identificar regiões com disponibilidade e demandas diferenciadas de nutrientes, que se justificam pelas características naturais de cada região como, por exemplo, o tipo de solo e de relevo, o clima e o bioma a que pertence, otimizando assim a aplicação de nutrientes e reduzindo, por sua vez, os danos ambientais.

Para se realizar um mapeamento é preciso dispor de uma base de dados com boa representatividade espacial. No entanto, os dados referentes aos solos brasileiros, passíveis de serem utilizados para o mapeamento da fertilidade, são esparsos e armazenados em bases de dados descentralizadas em diferentes instituições do país. Estes apresentam alguns problemas que precisam ser solucionados aplicando-se metodologias e tecnologias

inovadoras. Dentre elas, pode-se destacar a agricultura de precisão, a estruturação de banco de dados espaciais, o mapeamento digital de aspectos relacionados aos solos e outras geotecnologias.

Desta forma, pretende-se apresentar e discutir aspectos relacionados ao mapeamento da fertilidade do solo no Brasil, com destaque para o potássio, uma vez que já foram obtidos resultados no âmbito do projeto “Regionalização do Balanço de Potássio no Brasil”, vinculado à Cooperação Técnica entre Instituto Internacional do Potássio – IPI e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa.

2. Disponibilidade e organização dos dados passíveis de serem utilizados no mapeamento da fertilidade dos solos brasileiros

Diante da necessidade de informações para o desenvolvimento de estudos que envolvem a localização, qualidade e quantificação de propriedades de solos, seus processos e suas interações com outros recursos naturais (ERNSTROM e LYTLE, 1993), organismos internacionais e países têm desenvolvido sistemas de informações de solos. Estes sistemas são citados e descritos por Chagas et al. (2004) e algumas de suas características comuns são: possuem caráter espacial e abrangência nacional, os dados são originários de instituições oficiais e as fontes de dados são essencialmente os levantamentos pedológicos.

O Brasil ocupa uma posição de destaque na realização de estudos de solos tropicais, tendo gerado grande quantidade de dados por meio de levantamentos de solos e outros estudos (BHERING et al. 1998). Porém, os dados foram obtidos em diferentes escalas e o recobrimento do país em termos de dados de solos não é homogêneo. Segundo Mendonça-Santos e Santos (2006), o Sul e Sudeste do Brasil foram mais intensivamente mapeados, por serem regiões com grandes áreas cultivadas, além de serem as regiões com maior desenvolvimento econômico do país. Também existe uma concentração significativa de dados de solos a respeito da região Semi-Árida do país em função de políticas governamentais, visando atender aos

pequenos produtores, assim como subsidiar o desenvolvimento regional e projetos de irrigação. Por outro lado, as regiões Norte e Centro-Oeste do país foram pouco estudadas em termos de solos, devido à menor taxa de ocupação das terras e às dificuldades de acesso no passado. Esta realidade vem mudando, havendo maior demanda por informações de solos nestas regiões, uma vez que as áreas ocupadas pela agricultura e pecuária se expandiram drasticamente nos tempos mais recentes.

No que se refere às informações sobre a fertilidade dos solos do Brasil, as fontes de dados são as mesmas apresentadas anteriormente, principalmente os levantamentos de solos. Os levantamentos de solos são realizados a partir de perfis de solos distribuídos no espaço conforme a escala do levantamento. Cada perfil é dividido em horizontes, cujo número e profundidade são variáveis, de acordo com o tipo de solo. Para cada horizonte é realizada, em laboratório, uma análise das propriedades físicas e químicas dos solos. Este fato dificulta bastante a utilização dos mesmos dados obtidos para o mapeamento da fertilidade dos solos, uma vez que é preciso obter um único teor, de cada parâmetro de fertilidade analisado, por perfil. Supondo que a fertilidade dos solos fosse homogênea ao longo do perfil, bastaria se aplicar, por exemplo, uma média por perfil. Mas este fato não ocorre, uma vez que a maior fertilidade encontra-se nos horizontes superficiais, diminuindo nos horizontes mais profundos.

Inúmeras amostras de solos são obtidas e analisadas ao longo do país, todos os anos, para dar suporte à aplicação de corretivos e fertilizantes utilizados na agricultura. Esta informação pode ser valiosa para o mapeamento da fertilidade dos solos se for armazenada de forma conjunta e organizada em banco de dados, mas geralmente estes dados ficam dispersos com cada produtor e acabam se perdendo ao longo do tempo. Uma iniciativa que pode ocorrer em todo o país é para o armazenamento e a organização dos dados de fertilidade por regiões, em cooperativas, associações e outras instituições. Um exemplo disto já vem ocorrendo no Sudoeste Goiano, mais precisamente na Cooperativa Agroindustrial dos Produtores Rurais do Sudoeste Goiano (COMIGO) localizada no município de Rio Verde, que armazena em base de dados os dados resultantes das análises de fertilidade dos solos

realizadas em seu laboratório. Neste sentido, atualmente existem alguns Programas de Qualidade de Análise de Solo no Brasil. A Embrapa Solos coordena o Programa de Análise de Qualidade de Laboratórios de Fertilidade – PAQLF. Este programa foi instituído em 1992 e dele participam os laboratórios que utilizam o método Embrapa de análise dos solos. A participação dos laboratórios é voluntária e de âmbito nacional. Fazem parte hoje do PAQLF mais de 80 laboratórios de fertilidade de 23 estados brasileiros. Regras de consistência podem ser aplicadas aos dados obtidos a partir deste programa, sendo estes lançados em uma base de dados única, constituindo uma fonte importante de dados para o mapeamento da fertilidade dos solos em diferentes escalas.

Quanto ao armazenamento e organização dos dados de solos advindos principalmente dos levantamentos de solos e, portanto, passíveis de serem utilizados no momento para o mapeamento da fertilidade, encontram-se armazenados em diversos mapas e publicações científicas elaborados ao longo dos mais de cem anos de história da pesquisa agrícola no país (FILETO et al. 2005). E, ainda, diversas instituições públicas e privadas construíram, neste intermédio, bases de dados de solos que são utilizadas para fins de natureza também diversa, como: elaborar mapas de solos e de zoneamentos agrícolas, prever safras, subsidiar projetos de drenagem e irrigação, bem como a agricultura de precisão, além de outros processos de tomada de decisão na agricultura.

Porém, estas bases de dados de solos não estão sendo construídas de forma padronizada e nem mesmo constituem, na maioria das vezes, um banco de dados propriamente dito. As mesmas apresentam inconsistências relacionadas à digitação na entrada de dados, à não padronização das unidades, dentre outras. Além disso, não permitem a inserção de regras de consistência, consultas rápidas e gerenciamento dos dados. Um outro problema sério que dificulta o mapeamento digital da fertilidade dos solos utilizando, por exemplo, geotecnologias, é o fato dos dados possuírem problemas no georreferenciamento. Em muitos casos a informação do posicionamento do perfil amostrado é imprecisa ou até mesmo ausente. Isto pode ser justificado, uma vez que os dados contidos nas bases foram obtidos ao longo de muitos

anos e no passado não havia o Sistema de Posicionamento Global (GPS). E ainda, os dados de solos presentes nas bases supracitadas não possuem uma boa representatividade espacial ao se considerar toda a extensão do território brasileiro. Mesmo as regiões mais estudadas possuem dados descontínuos ou mais concentrados em determinadas áreas, devido às diferentes escalas em que foram obtidos.

Perante a necessidade de um banco de dados unificado no país, capaz de abrigar a grande maioria dos dados de solos obtidos até o momento e também de solucionar os problemas apresentados, disponibilizando os dados para a sociedade como um todo, algumas iniciativas vêm ocorrendo nos últimos anos. Segundo Mendonça-Santos e Santos (2006) a iniciativa precursora surgiu no Centro de Pesquisa de Solos (CNPS) – Embrapa Solos, com a elaboração do Sistema de Informação de Solos (SisSolos) no início da década de 80, escrito em linguagem COBOL (MENEGUELLI et al. 1983). No entanto, a tecnologia aplicada ficou obsoleta havendo a necessidade de uma estrutura mais robusta de banco de dados para abrigar as informações de solos. Sendo assim, surgiu no final da década de 80 uma outra iniciativa denominada SigSolos descrito por Bhering et al. (1998) e Chagas et al. (2004). Este banco de dados visou a organização e a sistematização dos dados georreferenciados de solos, apresentando interface bastante amigável. Porém, na década de 90 ele apresentou problemas técnicos de manutenção e exportação dos dados. Desta forma, surgiu a Iniciativa Solosbr também da Embrapa Solos visando obter uma plataforma em ambiente web, permitindo melhor avaliação, atualização e disponibilização dos dados de solos. Como resultado desta iniciativa, dados de solos encontram-se disponibilizados, na página da Embrapa Solos na internet, na forma de uma base de dados de solos de alguns perfis do Brasil, na forma de mapas de solos interativos e ainda na forma de publicações, apresentando resultados de pesquisas desenvolvidas na empresa, cujo foco principal é o solo e suas relações com o ambiente. Outras iniciativas neste sentido também ocorreram em outras instituições, como por exemplo, o sistema de informação de solos voltado ao zoneamento agrícola – Agrissolos, descrito por Fileto et al. (2005), sendo desenvolvido pela Embrapa Informação Agropecuária e Universidade Federal de São Carlos. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) também é uma instituição que detém em

um banco de dados uma quantidade significativa de informação sobre os solos do Brasil, disponibilizando parte dela também via WEB.

Mais recentemente, algumas instituições lideradas pela Embrapa Solos estão se articulando e juntando esforços com o objetivo de construir um único banco de dados georreferenciados para o país. Nesta iniciativa há a preocupação de que os dados sejam checados, atualizados e padronizados pelos especialistas, podendo assim ser disponibilizados para a sociedade como um todo, de forma mais eficiente.

3. Utilização de geotecnologias para a obtenção e organização de informações referentes à fertilidade dos solos

Atualmente, em relação aos preços praticados na agricultura, uma grande quantidade de agricultores tem dependência de uma pequena quantidade de vendedores de insumos e compradores dos produtos gerados. Aliado a isto, o alto dinamismo do sistema agrícola no espaço e no tempo, influenciado por fatores inerentes à planta, ao solo, ao clima e às ações antrópicas, além da globalização da economia, têm levado a uma necessidade de otimização deste sistema (DAINESE et al. 2003).

Uma destas otimizações, associada ao conceito de agricultura de precisão, está relacionada à aplicação de agrotóxicos e fertilizantes na quantidade adequada, pois quando estes são aplicados de maneira ineficiente geram problemas ambientais e aumento do custo de produção. A procura da otimização destes bens de produção tem influenciado a busca de novas alternativas tecnológicas e novos conceitos para operacionalização do processo produtivo, aliados à necessidade do manejo de grandes volumes de informações, que variam no espaço e no tempo. A aquisição de dados confiáveis, a organização dos mesmos em base de dados georreferenciados e a sua divulgação na forma de mapas é uma forma eficiente de contribuir também para este processo. Segundo Lamparelli et al. (2001), dentre estas novas tecnologias encontram-se as oriundas dos avanços da informática (tanto em termos de *hardware* quanto de *software*), como é o caso das geotecnologias.

As geotecnologias podem ser definidas como o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e disponibilização de informações com referência geográfica, denominadas tecnicamente de georreferenciadas. Dentre as geotecnologias estão os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), a Cartografia Digital, o Sensoriamento Remoto, o Sistema de Posicionamento Global (GPS), a Aerofotogrametria, a Geodésia, a Topografia Clássica, dentre outros.

O GPS é uma ferramenta importante na obtenção dos dados, uma vez que possibilita atribuir aos mesmos uma referência espacial, a partir de um sistema de projeção. As técnicas de sensoriamento remoto ampliam a possibilidade de aquisição de dados sobre a cobertura da terra, que podem fornecer indicativos diretos e indiretos das características dos solos. Contudo, uma das grandes contribuições das geotecnologias para a população, em termos de agricultura, é o potencial do uso das ferramentas SIG. Dangermond (1992) conceitua esses sistemas como um conjunto de *hardware*, *software* e dados geográficos projetados eficientemente para adquirir, armazenar, atualizar, manipular, analisar e visualizar todas as formas de informações geograficamente referenciadas. O SIG permite ainda a análise espacial dos dados, por meio da geoestatística, que consiste em um conjunto de técnicas utilizadas para analisar e inferir valores de uma variável distribuída no espaço e/ou no tempo. Considerando que as informações sobre os solos, com destaque para as relacionadas à fertilidade, são esparsas e com baixa representatividade espacial ao se considerar a extensão do país, estas ferramentas se mostram bastante úteis. Neste sentido, tecnologias relacionadas ao Mapeamento Digital dos Solos (MDS) vêm sendo aplicadas e discutidas em diversos países do mundo, obtendo-se grande êxito, como é o caso da aplicação de funções de pedotransferência. Neste sentido, um importante evento científico internacional foi realizado no Brasil, mais especificamente no Rio de Janeiro, em julho de 2006, sob a coordenação da Embrapa Solos, para discutir diversos aspectos relacionados ao MDS (GLOBAL..., 2006).

A partir do SIG é possível também integrar os vários tipos de informações necessárias para o gerenciamento e controle da produção agrícola, em diversos formatos, a fim de subsidiar um aumento desta produção e simulta-

neamente possibilitar a redução da degradação ambiental. Para Burrough e McDonnell (1998), o SIG é mais que um simples automatizador de tarefas existentes; ele propicia ambos, um arquivo de dados espaciais na forma original e uma ferramenta para a exploração de interações entre processos e modelos em fenômenos espaciais e temporais.

Porém, o grande desafio da produção de novas informações é a modelagem em SIG. Como o SIG oferece uma grande quantidade de funções de álgebra de mapas, nem sempre é fácil escolher qual a forma de combinação de dados é mais adequada para os diversos propósitos. Neste contexto, é muito útil dispor de ferramentas de suporte à decisão, que nos ajudem a organizar e estabelecer um modelo racional de combinação dos dados (INPE, 2004). Os métodos mais utilizados no suporte à decisão são os multicritério. As Metodologias Multicritério de Apoio à Decisão (*Multicriteria Decision Aid* – MCDA) objetivam auxiliar analistas e decisores em situações nas quais há a necessidade de identificação de prioridades sob a ótica de múltiplos critérios, o que ocorre normalmente, quando coexistem interesses em conflito (GOMES, 1999).

Contudo, nem todas estas tecnologias para aquisição, armazenamento e processamento de dados contendo informação espacial ainda não são acessadas com facilidade pelo produtor ou técnico agrícola. Isto ocorre porque para acessá-las é preciso ter um conhecimento técnico básico. Para reverter esta situação é preciso investir em cursos de capacitação de técnicos agrícolas e produtores interessados, passando os conceitos básicos relacionados às geotecnologias e como manusear os equipamentos. É preciso ensiná-los a interpretar mapas resultantes do processamento dos dados e divulgá-los na região onde foram obtidos, em meios de comunicação de fácil acesso pela população como folhetos, internet, entre outros. A aquisição dos equipamentos básicos pode ser realizada por meio de projetos de desenvolvimento agrícola, prefeituras, cooperativas, associações de produtores, dentre outras formas.

4. Mapeamento da disponibilidade de potássio nos solos

4.1 Mapeamento da disponibilidade de potássio - Brasil

Visando atender à demanda exposta anteriormente, em 2004 foi proposto como um dos sub-projetos que relacionam-se ao Acordo de Cooperação Técnica Internacional estabelecido entre IPI e Embrapa: Projeto Aduba Brasil - Apoio ao Uso Balanceado de Potássio e Outros Nutrientes na Agricultura Brasileira, a Regionalização do Balanço do Potássio no Brasil (OLIVEIRA et al. 2005). Em 2005 iniciou-se o mapeamento da disponibilidade de K para o território Brasileiro, cujos resultados serão apresentados neste documento.

Os dados utilizados foram provenientes da Base de Dados da Embrapa Solos – SigSolos, com aproximadamente 2.600 perfis e 8.500 horizontes obtidos no período de 1958 a 2001.

4.2 Análise descritiva dos dados de solos, seleção e ponderação dos dados de K

Foi inicialmente realizada uma análise exploratória dos dados verificando os *outliers*. Após a eliminação dos *outliers* foi aplicada uma estatística descritiva para os principais atributos químicos e texturais referentes às camadas superficiais dos perfis de solos considerados (Tabela 1).

Estes resultados mostraram que os teores de K disponível para a planta variou de 3,90 a 456,30 mg kg⁻¹ (Média = 79,00 mg kg⁻¹ e Desvio Padrão = 79,60 mg kg⁻¹), apresentando ampla variabilidade em relação às outras propriedades dos solos analisadas como Ca, Mg, Na, Al e P. Isto faz sentido uma vez que o potássio, comparado com outros cátions, apresenta maior mobilidade no solo. Cálcio e magnésio apresentaram uma boa correlação com K, enquanto os teores de Al correlacionaram negativamente com os de K. A calagem associada à adubação poderia melhorar esta correlação. O teor de matéria orgânica também apresenta uma correlação positiva com os níveis de potássio e o nitrogênio foi mais sensível à variação dos teores de potássio. O nitrogênio reflete melhor a matéria orgânica ativa do solo do que o carbono devido às substâncias húmicas consistirem na maior parte de matéria orgânica com baixa relação C:N. Entretanto, pelo fato da grande

maioria dos boletins de levantamento de solos conterem um número maior de resultados de carbono orgânico que de nitrogênio total, os dados de carbono orgânico foram considerados como representativos da matéria orgânica do solo na nossa análise de correlação múltipla.

Nesta fase também foi realizada uma análise de correlação de K com outros atributos dos solos (Tabela 2). Observa-se que a areia apresenta uma correlação negativa em relação ao K enquanto que os teores de silte apresentam uma correlação positiva em relação ao K. Solos arenosos geralmente contêm baixos teores de K devido à elevada taxa de lixiviação. A fração silte contém minerais ricos em K, especialmente os minerais tipo 2:1.

Tabela 1. Estatística descritiva para as propriedades dos solos nas camadas superficiais.

	Unidade	N	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
areia	g kg ⁻¹	2496	463,87	0,00	980,00	264,93	175%
silte		2530	195,02	0,00	650,00	137,22	142%
argila		2530	341,44	10,00	950,00	215,69	158%
silte/areia		2530	0,87	0,00	6,66	0,89	97%
pH em água		2530	5,15	3,30	7,70	0,80	638%
pH em KCl		2494	4,32	2,90	7,40	0,70	616%
ΔpH		2494	-0,82	-2,80	0,80	0,37	-219%
Ca+Mg	cmol _c kg ⁻¹	2530	3,54	0,02	24,60	4,63	76%
K disponível	mg kg ⁻¹	2530	79,04	3,90	456,30	79,64	99%
Na+	cmol _c kg ⁻¹	2523	0,07	0,00	8,12	0,31	24%
Saturação por bases	cmol _c kg ⁻¹	2530	3,82	0,08	25,35	4,80	80%
Al	cmol _c kg ⁻¹	2511	1,12	0,00	6,60	1,37	82%
H+Al	cmol _c kg ⁻¹	2485	5,71	0,10	35,00	4,08	140%
P	Mg kg ⁻¹	1976	4,76	0,00	329,00	15,74	30%
C	g kg ⁻¹	2530	14,66	0,40	69,10	9,58	153%
N	g kg ⁻¹	2358	1,44	0,09	6,90	0,86	167%

Tabela 2. Correlação entre K e outras propriedades dos solos nas camadas superficiais.

	Areia	Silte	Argila	Silte/Argila	pH em água	pH em KCl	Δ pH
K disponível	-0,30	0,37	0,14	0,06	0,47	0,49	-0,09
	Ca+Mg	Na+	SB	Al	P (mg kg ⁻¹)	C (g kg ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)
K disponível	0,63	0,05	0,65	-0,24	0,13	0,29	0,39

Para a ponderação dos dados de K disponíveis, inicialmente foi aplicada também uma estatística descritiva para os dados relacionados aos solos predominantes do Brasil (Argissolos, Latossolos e Neossolos quartzarênicos), visando verificar a variabilidade de K em profundidade. Foram consideradas as profundidades 0-10, 0-20, 0-30 e 0-40 cm. A profundidade máxima considerada foi de 40cm pelo fato de ser a profundidade máxima preconizada na literatura em que as culturas perenes e temporárias extraem os nutrientes.

A Tabela 3 apresenta a média acumulada de K (mg kg⁻¹) nos solos predominantes variando (> 20%) com a profundidade, particularmente entre 0-10 e 0-20cm. Com base nestes resultados, os seguintes critérios de seleção foram adotados:

- *Perfis com apenas um horizonte superficial*: selecionou-se apenas aqueles cuja profundidade máxima fosse de 20 ≤ 40 cm;

- *Perfis com mais de um horizonte*: selecionou-se apenas aqueles cujos horizontes subjacentes ao superficial fossem contínuos e a profundidade inicial fosse ≤ 20 cm e a final ≤ 40. Quando a profundidade final de um horizonte fosse 20 ≤ 40, esta foi considerada como sendo 30 para que estes perfis pudessem ser ponderados utilizando-se a equação a seguir:

$$((e_1 * k_1) + (e_n * k_n)) / 30$$

Onde:

e = espessura do horizonte (camada) - cm

k = teor de potássio no horizonte - mg kg⁻¹

n = número de horizontes

Tabela 3. Estatística descritiva dos teores de K em diferentes profundidades – médias acumuladas para os principais tipos de solos do Brasil.

Solos	Profundidade (cm)	Número de Perfis	Média Acumulada de K (mg kg ⁻¹)	Desvio Padrão (mg kg ⁻¹)
Argissolo	0-10	132	106,47	93,21
Argissolo	0-20	394	101,79	96,72
Argissolo	0-30	582	94,38	104,13
Argissolo	0-40	745	86,58	97,50
Latossolo	0-10	116	91,26	123,24
Latossolo	0-20	612	73,32	100,23
Latossolo	0-30	795	67,47	92,43
Latossolo	0-40	920	62,01	87,75
Neossolo quartzarênico	0-10	56	154,44	141,57
Neossolo quartzarênico	0-20	218	134,16	164,97
Neossolo quartzarênico	0-30	308	125,19	156,78
Neossolo quartzarênico	0-40	370	117,00	147,42

Foram selecionados e ponderados, desta forma, aproximadamente, 1.874 perfis de solos da Base de Dados de Solos – SigSolos.

4.3 Obtenção das unidades de mapeamento – biomas x solos e associação de informação espacial aos perfis de solos ponderados

A distribuição espacial dos perfis de solo do Brasil contidos na Base de Dados da Embrapa Solos, contendo informações dos teores de potássio, não é homogênea e o número de pontos é insuficiente para uma boa interpolação, considerando-se o extenso território brasileiro. Sendo assim, utilizando-se a ferramenta *Geoprocessing Wizard* do ArcGIS 9.1, foi realizada uma interseção dos Mapas de Solos do Brasil (EMBRAPA, 1981) e dos Biomas do Brasil (IBGE-MMA, 2005) na escala 1 :5.000.000.

Foram obtidas 3.332 unidades biomas x solos. A partir desta sobreposição dos mapas e considerando as informações dos teores de potássio por perfis ponderados, é possível identificar diferentes biomas brasileiros que podem apresentar teores diferenciados de K, mesmo possuindo o mesmo

tipo de solo. Trata-se, portanto, de uma informação importante para a agricultura, visto que acredita-se que os teores de nutrientes por tipo de solo devam estar bastante associados ao bioma em que se encontra.

Foi possível também conhecer a proporção dos solos predominantes do Brasil por cada tipo de bioma. Para o cálculo de área no ArcGIS 9.1 foi utilizada a projeção Cônica Equivalente de Albers e o *South American Datum* 1969 (SAD69). Os resultados encontram-se na Tabela 4. Observa-se que em percentual de área predominam os argissolos e/ou latossolos nos biomas Amazônia, Mata Atlântica e Cerrado. Já no bioma Caatinga predominam os neossolos e nos biomas Pampa e Pantanal predominam os planossolos.

Tabela 4. Percentagem dos solos predominantes nos diferentes biomas brasileiros.

Biomas	Solos	Percentual
Amazônia	Argissolos	30,99%
Amazônia	Latossolos	30,37%
Amazônia	Gleissolos	8,06%
Amazônia	Outros	30,58%
Caatinga	Neossolos	28,86%
Caatinga	Latossolos	21,00%
Caatinga	Argissolos	15,43%
Caatinga	Outros	34,71%
Cerrado	Latossolos	40,73%
Cerrado	Neossolos	23,10%
Cerrado	Argissolos	12,00%
Cerrado	Outros	24,17%
Mata Atlântica	Latossolos	35,52%
Mata Atlântica	Argissolos	28,85%
Mata Atlântica	Cambissolos	15,58%
Mata Atlântica	Outros	20,05%
Pampa	Planossolos	26,06%
Pampa	Neossolos	23,42%
Pampa	Argissolos	22,31%
Pampa	Outros	28,21%
Pantanal	Planossolos	31,87%
Pantanal	Espodossolos	19,98%
Pantanal	Plintossolos	18,72%
Pantanal	Outros	29,43%

Considerando apenas os perfis ponderados classificados como argissolos e latossolos, associados aos biomas brasileiros, observa-se que os teores médios de K variam nos diferentes biomas, como mostra a Tabela 5. Este fato concorda com a hipótese adotada ao se estabelecer como unidade de mapeamento polígonos resultantes do cruzamento dos biomas e solos.

Tabela 5. Teores de K dos argissolos e latossolos nos diferentes biomas brasileiros.

Biomass-Solos	N	Média K disponível (mg kg ⁻¹)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
Amazônia - Argissolos	126	49,90	70,74	1,42
Amazônia - Latossolos	79	53,85	94,84	1,76
Caatinga - Argissolos	81	121,04	112,35	0,93
Caatinga - Latossolos	53	63,71	51,63	0,81
Cerrado - Argissolos	51	94,95	80,96	0,85
Cerrado - Latossolos	346	60,79	97,47	1,60
Mata Atlântica - Argissolos	141	100,48	123,95	1,23
Mata Atlântica - Latossolos	150	97,14	80,40	0,83
Pampa - Argissolos	4	87,75	42,30	0,48
Pantanal - Argissolos	3	106,51	121,45	1,14
Pantanal - Latossolos	3	308,75	79,70	0,26

Quanto ao número de perfis e teor de K para cada bioma, considerando todos os tipos de solos, a Tabela 6 mostra que, comparado com a Mata Atlântica, Caatinga e Cerrado, o bioma Amazônia apresenta baixos teores de K disponível. Os resultados obtidos referentes aos biomas Pampa e Pantanal devem ser considerados com cautela, uma vez que o número de perfis ponderados pertencentes a estes biomas é muito pequeno.

Tabela 6. Resultado da estatística descritiva aplicada aos teores de potássio ponderados por perfis, considerando os biomas brasileiros.

Biomassas	N	Média K disponível (mg kg ⁻¹)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
Amazônia	355	50,55	71,40	141%
Caatinga	297	106,10	108,06	102%
Cerrado	594	94,53	160,20	169%
Mata Atlântica	599	98,43	101,18	103%
Pampa	22	57,88	37,57	65%
Pantanal	7	123,15	121,14	98%

Após a definição das unidades de mapeamento biomas x solos, duas metodologias distintas foram aplicadas para o mapeamento da disponibilidade de K nos solos brasileiros, sendo estas e seus resultados apresentados a seguir.

4.4 Mapeamento da disponibilidade de K a partir dos perfis de solos ponderados com informação espacial associada

Como os perfis de solos ponderados a partir da Base de Dados de Solos – SigSolos apresentavam problemas de georreferenciamento (ausência ou imprecisões), foram atribuídas aos mesmos coordenadas dos centróides dos municípios a que eles pertencem, aplicando-se ferramentas de junção de tabelas do ArcGIS 9.1 e a malha municipal (IBGE, 2001). A Figura 1 apresenta a distribuição espacial dos perfis de solos ponderados associados às coordenadas dos centróides dos municípios que pertencem, apresentando também os limites dos biomas.

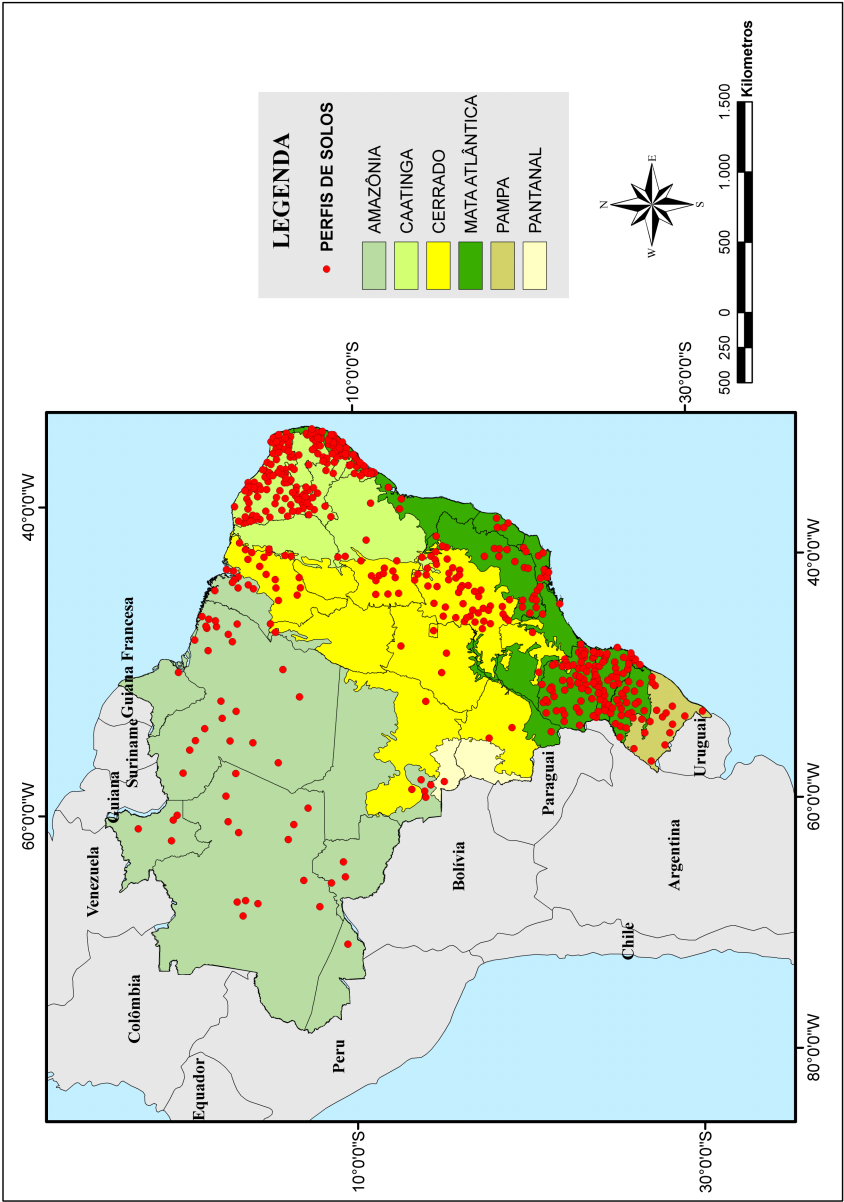


Figura 1. Mapa dos biomas brasileiros e dos perfis de solos ponderados espacializados.

Observa-se que a distribuição espacial dos perfis de solos ponderados não é homogênea ao longo do território brasileiro, este fato ocorre devido às diferentes escalas de mapeamento utilizadas na obtenção dos dados em levantamentos de solos, que ocorreram também em épocas diferenciadas, dentre outras razões expostas anteriormente.

A classificação dos solos associada aos perfis da Base de Dados – SigSolos estava no primeiro nível categórico (por exemplo Latossolo), enquanto as unidades de mapeamento foram obtidas com base nos limites dos biomas e dos solos na escala 1:5.000.000, cuja classificação estava no terceiro nível categórico (por exemplo Latossolo Vermelho Distrófico). Sendo assim, foi necessário utilizar a ferramenta de junção de tabelas do ArcGIS9.1 para selecionar apenas os perfis da base de dados de solos que fossem representativos da escala 1:5.000.000. Deste procedimento restaram apenas 482 perfis de solos com teor de K ponderado. Estes valores foram associados às unidades biomas x solos utilizando novamente a ferramenta de junção espacial do ArcGIS9.1, obtendo-se 177 unidades biomas x solos com teores de K associados.

Algumas unidades biomas x solos possuíam mais de um teor de K associado. Para estes casos, foi calculada uma média de K para cada unidade, também utilizando o módulo de estatística do ArcGIS 9.1. A partir de então, foi feita uma extrapolação dos valores de K já associados às 177 unidades biomas x solos para as demais unidades semelhantes e sem informação. Como resultado, foram obtidas 1.992 unidades biomas x solos com teor de K associado. Ainda assim, 1.340 unidades biomas x solos não tiveram valores de K associados por não terem nenhum perfil amostrado que pudesse ser representativo do tipo de solo e bioma que as recobria. Este fato ocorreu, por exemplo, para as seguintes unidades biomas x solos:

- amazônia – chernossolos
- cerrado – chernossolos
- cerrado – espodossolos
- mata atlântica – chernossolos

- pampa – chernossolos
- pampa – gleissolos
- pampa – latossolos
- pampa – neossolos
- pampa – plintossolos
- pampa - vertissolos ebônicos órticos

O bioma Pantanal teve somente 7 perfis representativos dos latossolos e argissolos, ficando os demais solos sem representação.

Para gerar o mapa final de disponibilidade de K para os solos brasileiros (Figura 2), foram definidas cinco classes, cujos intervalos para o teor de K foram definidos com base na recomendação de Raij et al. (1996). Uma sexta classe também foi gerada para representar as unidades biomas x solos que não tiveram teor de K associado pela metodologia aplicada. Desta forma, os intervalos e classes para a disponibilidade de K ficaram assim definidos:

- Sem dados
- 0-30 mg kg⁻¹ – Muito baixa
- 30-60 mg kg⁻¹ – Baixa
- 60-120 mg kg⁻¹ – Média
- 120-240 mg kg⁻¹ – Alta
- >240 mg kg⁻¹ – Muito alta

Foi calculada a área percentual de cada classe obtida em relação à área do território brasileiro, sendo os resultados apresentados na legenda do mapa da Figura 2. Observa-se que grande parte das unidades biomas x solos foram associadas à classe Baixa (23,8%) e que a classe menos representativa foi a Muito alta (4,4%). Estes resultados parecem estar condizentes com a realidade, uma vez que os solos brasileiros são geralmente pobres em K, como já mencionado anteriormente.

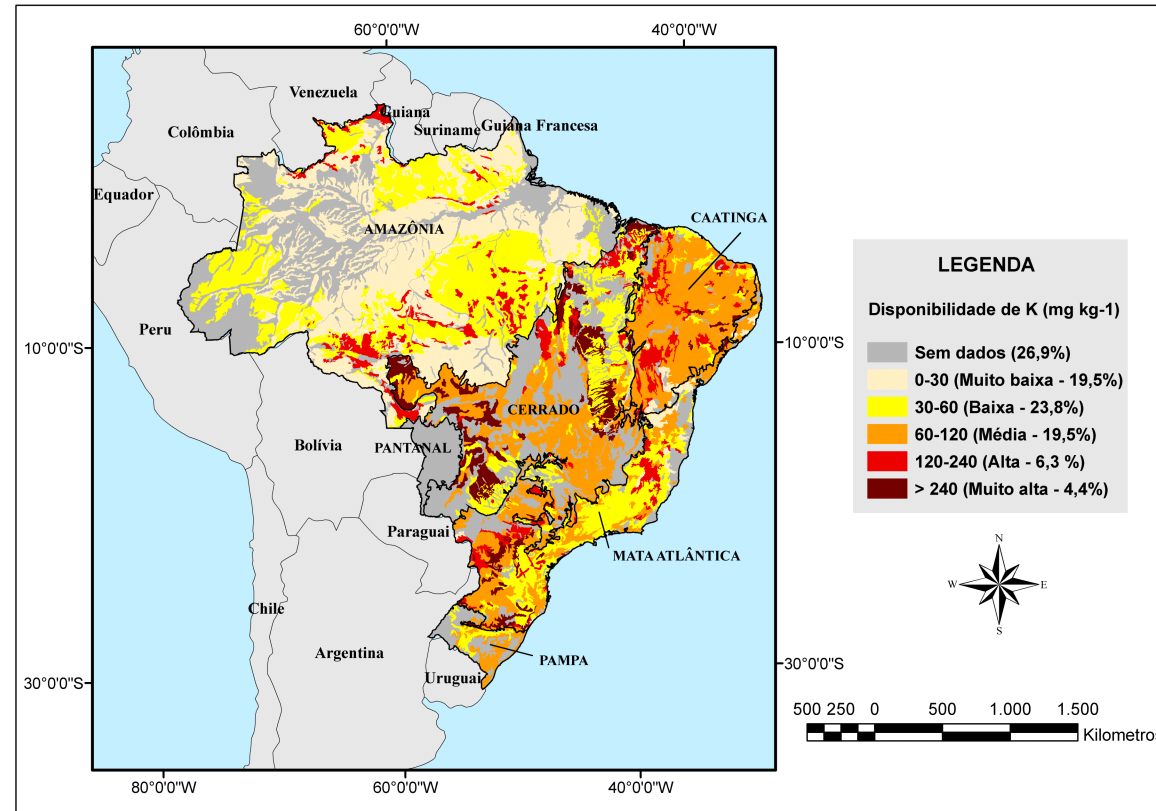


Figura 2. Mapa da disponibilidade de K com informação espacial associada por unidade biomas x solos do Brasil.

Considerando ainda que os tipos de solos, bem como as variações climáticas, exercem influência significativa na disponibilidade de K em cada bioma, pode-se observar que na Caatinga os solos apresentam alta fertilidade devido à baixa precipitação (aproximadamente entre 400 e 800mm ao ano), que resulta em altos níveis de nutrientes vegetais. Por outro lado, a Amazônia apresenta os mais baixos teores de K por causa da elevada precipitação e, por conseguinte, alta taxa de lixiviação. No Cerrado os teores de K variam entre baixo e médio, sendo o sistema de pastagens e monocultura com milho e soja muito comuns, exigindo a aplicação de grandes quantidades de fertilizantes. Já a Mata Atlântica e Caatinga concentram um grande número de pequenos agricultores, menos capitalizados e que, portanto, aplicam uma quantia menor de fertilizantes nos solos.

4.5 Mapeamento da disponibilidade de K a partir da estatística descritiva aplicada aos perfis de solos ponderados, considerando o terceiro nível categórico

Esta metodologia foi aplicada apenas para os solos predominantes Latossolos (32%) e Argissolos (24%) que perfazem um total de 56% da área do território brasileiro, além de serem solos onde a agricultura é mais expressiva. Os perfis da base de dados de solos relacionados aos Latossolos e Argissolos, classificados no primeiro nível categórico, foram reclassificados para o terceiro nível categórico. Para diferenciar os tipos de solos no segundo nível categórico, foi considerada a cor úmida no primeiro horizonte B (10R-7,5R-5R-2,5YR = Vermelho; 5YR-7,5YR = Vermelho-Amarelo e 10YR-2,5Y-5Y-7,5Y-10Y = Amarelo) e, para classificá-los no terceiro nível categórico, foi analisado o percentual de saturação (se $< 0,5$ = Distrófico, se $> 0,5$ = Eutrófico).

Os biomas foram associados a cada perfil de solo reclassificado para o terceiro nível categórico. Na sequência, foi realizada uma análise descritiva dos dados de solos, teor de K e biomas a partir do software STATISTICA. As médias de K obtidas foram associadas às unidades biomas x solos conforme mencionado no item 4.4. As mesmas seis classes descritas no item 4.4 (Figura 2) foram utilizadas para gerar o mapa final da disponibilidade de K (Latosolos e Argissolos) considerando o terceiro nível categórico (Figura 3).

Neste caso, os biomas Pampa e Pantanal não tiveram nenhuma unidade de bioma x solo com valor de K associado. Os biomas Amazônia e Mata Atlântica foram os mais mapeados, com predomínio da classe baixa (26,7% do território brasileiro). Contudo, para ambos os mapas de disponibilidade de K obtidos, as classes predominantes variaram de Muito baixa ($0-30\text{mg K kg}^{-1}$) a Média ($60-120\text{mg K kg}^{-1}$). Segundo Bernardi et al. (2002), o potássio é o segundo nutriente mais exigido pelas principais culturas no Brasil, tais como a soja, o café, o feijão e o algodão. Sendo assim, uma aplicação balanceada de potássio é essencial para evitar a degradação do solo e problemas no crescimento da planta.

Contudo, os resultados do mapeamento da disponibilidade de K nos solos brasileiros, aplicando-se ambas as metodologias, utilizando uma base de dados obtidos a partir de levantamentos de solos, são bastante limitados. Esta limitação se deve ao fato dos dados serem esparsos, como já mencionado anteriormente. Este tipo de mapeamento pode ser útil para o planejamento da distribuição de fertilizantes no Brasil, pois identifica áreas com maior ou menor fertilidade. Porém, para auxiliar na recomendação de fertilizantes na agricultura em escalas regional ou local este tipo de mapeamento não é eficiente, necessitando de um número maior de dados com informação espacial associada.

Neste sentido, um próximo passo está sendo realizar o mapeamento da disponibilidade de K, extração de potássio, balanço de potássio e sua correlação com aspectos naturais e antrópicos como o uso e ocupação da terra, geomorfologia, precipitação, solos, dentre outros para o Sudoeste Goiano, uma relevante região agrícola do país, onde os produtores estão organizados em uma cooperativa (COMIGO) que realiza e armazena por ano, aproximadamente, 10.000 dados de fertilidade dos solos.

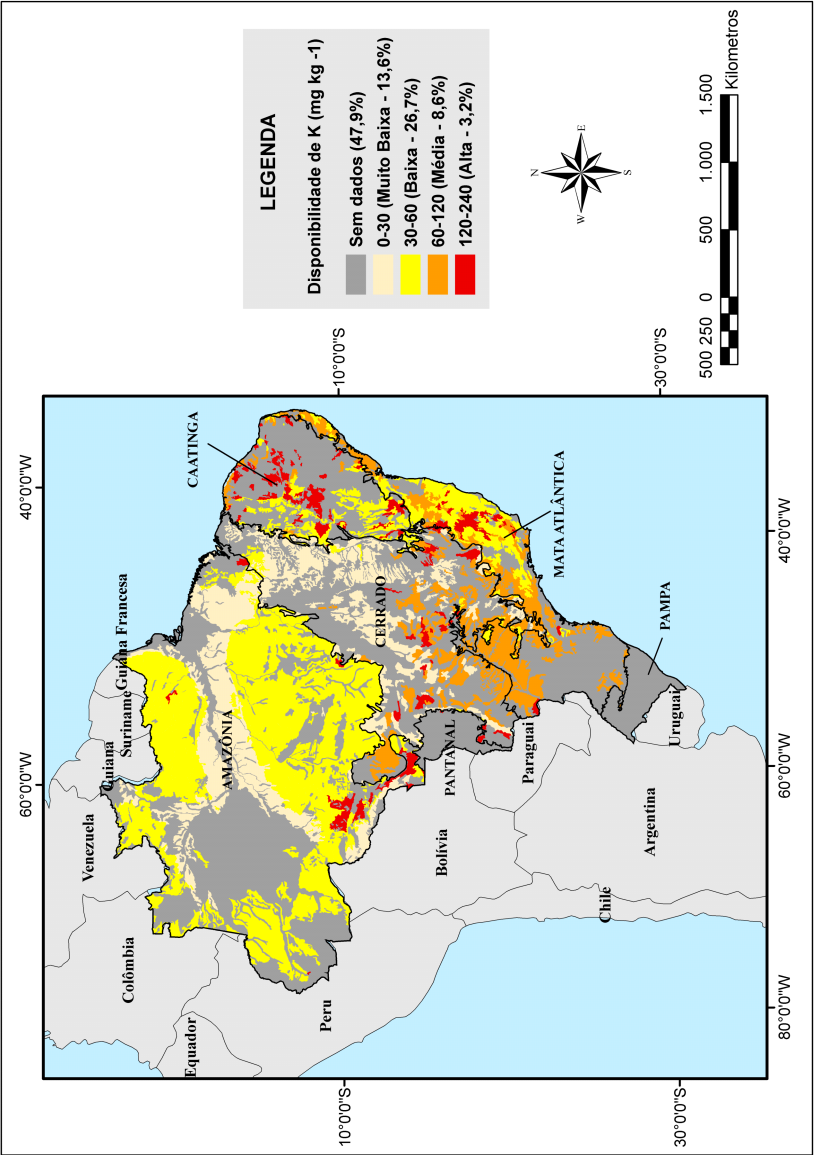


Figura 3. Mapa da disponibilidade de K por unidade biomas x solos do Brasil.

5. Considerações Finais

O mapeamento da fertilidade dos solos brasileiros é importante para subsidiar o manejo de fertilizantes na agricultura. Porém, necessita-se de uma melhor organização, padronização e disponibilização de base de dados de fertilidade de solos, além da utilização de técnicas que possam assegurar a boa qualidade dos dados.

Um melhor georreferenciamento das informações também é fundamental neste sentido, assim como a capacitação e difusão de geotecnologias e modelagem dos dados.

No caso da experiência do mapeamento da disponibilidade de potássio para o Brasil, dificuldades foram encontradas, pois a base de dados que se dispunha apresentava problemas tanto na representatividade espacial dos dados para o Brasil como no georreferenciamento dos mesmos. Portanto, percebe-se que quanto maior a quantidade e representatividade dos dados de solos, além de possuírem informação geográfica, melhor será a precisão dos mapas de fertilidade a serem obtidos. Neste sentido, torna-se mais viável o mapeamento da fertilidade dos solos por regiões, em uma escala melhor, para realmente servir de subsídio às recomendações para a adubação das terras.

Contudo, apesar dos dados utilizados apresentarem as deficiências descritas anteriormente e de terem sido obtidos em épocas diferenciadas sob diferentes manejos, eles permitiram o mapeamento da disponibilidade de K no Brasil, em escala generalizada. Os resultados obtidos podem servir de subsídio ao planejamento da distribuição de fertilizantes no país e identificação de áreas mais ou menos carentes quanto ao K, dependendo do tipo de cultivo que se pretenda estabelecer.

Agradecimentos

Ao apoio financeiro do Instituto Internacional do Potássio (IPI).

6. Referências Bibliográficas

BERNARDI, A. C. C.; MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A. Fertilidade do solo e demanda por nutriente no Brasil. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E.; PERES, J. R. R. (Ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p. 61-77.

BHERING, S. B.; CHAGAS, C. S.; ANDRADE JÚNIOR, O., CARVALHO JÚNIOR, W.; MANSILLA BACA, J. F.; TANAKA, A. K. 1998. **Base de informações georreferenciada de solos**: metodologia e guia básico do aplicativo SigSolos, versão 1.0. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1998. 1 CD-ROM. (Embrapa-CNPS. Boletim de pesquisa, 11).

BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems**: spatial information systems and geostatistics. Oxford: Clarendon, 1998. 333 p.

CHAGAS, C. S.; CARVALHO JUNIOR, W.; BHERING, S. B.; TANAKA, A. K.; MANSILLA BACA, J. F. Estrutura e organização do sistema de informações georreferenciadas de solos do Brasil (SigSolos – versão 1.0). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 865-876, jan./fev. 2004.

DAINESE, R. C.; ADAMI, M.; MOLIN, J. P.; MOREIRA, M. A. Uso do Spring no processamento de dados de fertilidade do solo para uso em agricultura de precisão. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003.

DANGERMOND, J. What is a geographic information system (GIS)? In: JOHNSON, A. I.; PETTERSSON, C. B.; FULTON, J. L. (Ed.). **Geographic information systems (GIS) and mapping**: practices and standards. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1992. p. 11-17. (ASTM. STP 1126).

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Mapa de solos do Brasil (1:5.000.000)**. Rio de Janeiro, 1981. 1 mapa, color. Escala 1:5.000.000.

EMBRAPA SOLOS. **Mapa de susceptibilidade à erosão dos solos do Brasil (1:5000.000)**. Rio de Janeiro: 2003. 1 mapa digital color. em serviço SIG. Escala 1:5000.000. Disponível em: <http://mapserver.cnps.embrapa.br/website/pub/Brasil_Erosao/viewer.htm> . Acesso em: 09 jun. 2004.

ERNSTROM, D. J.; LYTLE, D. J. Enhanced soils information systems from advances in computer technology. **Geoderma**, Amsterdam, v. 60, n. 1/4, p. 327-341, 1993.

FILETO, R; ASSAD, M. L.; SILVA, J. V. ; SOARES, A. F.; VENDRUSCULO, L. G . Uma arquitetura para sistema de informação sobre solos para o zoneamento agrícola. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA, 2005, Londrina. **Anais...** Londrina, 2005.

GLOBAL WORKSHOP ON DIGITAL SOIL MAPPING, 2., 2006, Rio de Janeiro. **Program and full papers for...** DSM for regions and countries with sparse spatial data infrastructure. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 1 CD-ROM. Mendonça-Santos, M. L.; Mcbratney, A. B. (Ed.).

GOMES, E. G. **Integração entre sistemas de informação geográfica e métodos multicritério no apoio à decisão espacial**. 1999. Dissertação (Mestrado) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, v. 23, n. 1, p.145-154, jan./mar. 1999.

IBGE. **Mapa de Solos do Brasil**: escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro:IBGE: Embrapa Solos, 2001a

IBGE. Departamento de Cartografia. **Malha municipal digital do Brasil**: escala 1:2.500.000. Rio de Janeiro, 2001. 1 CD-ROM.

IBGE. **Mapa de biomas do Brasil (1:5.000.000)**. Rio de Janeiro, 2005. 1 mapa, color. Escala 1:5.000.000. Edição conjunta com o Ministério do Meio Ambiente.

INPE. **Spring**: manuais. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/manuais.html>>. Acesso em: 05 jul. 2004.

LAMPARELLI, R. A. C.; ROCHA, J. V.; BORGHI E. **Geoprocessamento e agricultura de precisão**: fundamentos e aplicações. Guaíba: Agropecuária, 2001. v.2, 118 p.

MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; SILVA, C. A. **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 209 p.

MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T.; WUTKE, E. B.; BRAGA, N. R.; MIRANDA, M. A. C. Potássio para a soja. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 105, p. 1-2, mar. 2004.

MENDONÇA-SANTOS, M. L.; SANTOS, H. G. The state of the art of Brazilian soil mapping and prospects for digital soil mapping. In: LAGACHERIE, P.; MCBRATNEY, A. B.; VOLTZ, M. (Ed.). **Developments in Soil Science**. Amsterdam: Elsevier, 2006. v. 31, Chapter 3, p. 39-54.

MENEGUELLI, N. A.; ASSIS, D. S.; SECHET, P. **SISSOLOS**: manual de uso. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1983. 245 p. (EMBRAPA-SNLCS. Documentos, 4).

NACHTIGAL, R. G.; RAIJ, B. van. Análise e interpretação do potássio no solo. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2005. p. 94-118.

OLIVEIRA, R. P.; MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; NAUMOV, A. Considerações sobre o uso do solo e a regionalização do balanço de potássio na agricultura brasileira. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2005. p. 119-164.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1996. 285 p. (IAC. Boletim técnico, 100).